

喜多が行く



明るい未来テクノロジー紀行

第2話

「温めてテラビット」の光ルーター

「温めると曲がるんですって、光が」

「は？」

「NTTの横須賀で開発している、新しいルーターなんだそうです。おもしろそうだから、調べてきてくれませんか」

N編集長のご下命である。「？」の詰まった頭を抱え品川から京浜急行線で約50分、アルファベットが正式名に含まれる全国的にもめずらしい駅「YRP野比」でバスに乗り換え、海を見下ろし富士山を臨む高台にそびえるNTTの横須賀研究開発センターを訪ねた。電電公社時代から30年余、「横須賀通研」と尊敬の念をもって仰ぎ見られてきた日本の通信技術史における聖地の1つ。この中にある「未来ねっと研究所フォトニックネットワークング研究グループ」が本日のターゲットである。

ここで開発されている「テラビット級光MPLSルーター」は、2001年6月にアトランタ(米ジョージア州)で開催されたネットワーク機器の総合展示会「SuperCOMM 2001」で動態展示され、大きな注目を集めた。人前でちゃんと動く光ルーターとして、世界初の展示を成功させたからだ。

同研究グループの主幹研究員である滝川好比郎(よしひろ)さんはこう語る。「同業他社さんもたくさんやってきて、展示ブースでは立ち見続出でした。そうそうた

る世界的企業をさしおいての、世界初でしたからねえ」

「光は光のまま」通過させたい

急増するインターネットのトラフィックをさばくため、ルーターにはいっそうの処理能力向上が求められている。近未来のルーターがそれをどんな方法で実現すべきか、方針だけなら素人だってすぐわかる。

「光がいくら速くても、光ファイバーの中を通ってきた信号を、いったん電気信号に変換し、パケットの宛て先を読んで、また光に変えてファイバーに送り出すというまどろっこしいことをやっているのは、処理速度は上がらない。テラビット級の情報をさばくためには光を光のままルーティングする光ルーターがどうしても必要なんです」



SuperCOMM 2001での光ルーターの展示。ガラスに鼻を押し付け、食い入るように見る人が絶えなかったとか

ルーターとルーターを結ぶ伝送路はとくに光ファイバーになっている。DWDM(高密度波長多重伝送)などの技術が進み、この伝送路はますます太くなってきた。だから、「光はなるべく光のまま、次のルーターへ送り出す」というのは、開発の方向性としては至極真っ当なものだ。スピードを考えても信頼性を考えても誰が考えてもそのほうが良いに決まっている。

では何でそれがなかなか実現しなかったのか。ネックは「切り替えスイッチ」だった。それも光クロスコネクと呼ばれる、N本の入力とN本の出力を自在に結び付けるデバイスの、いいものが登場してくれなかったのである。電話の黎明期には交換手が壁の穴にコネクタを差し込んで物理的に回線を設定していたが、あれがクロスコネク。また、かつての人気番組「パンチDEデート(毎日放送)でも、5対5のクロスコネクが利用されていた(ちょっと違うが)。

話を戻すが、使い物になる光ルーターを実現させるには、Nがなるべく大きくて信頼性の高い光クロスコネクが必要で、光の経路を変えるスイッチの機構がそのカギを握る。世界中の通信事業者や研究所や電子部品会社が、さまざまなアイデアでこれを試みている。小さな可動ミラーを使ったり、光を遮る泡を発生させたり……。

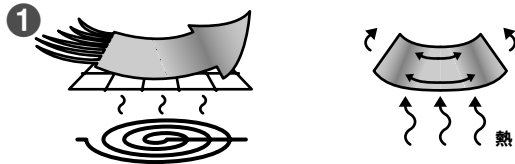
光の経路を変えるコアデバイス「TOSW」

そしてこのルーターでは「TOSW(サーモオプティックスイッチ)」と呼ばれる熱光学素子をスタックした光クロスコネクが使われ

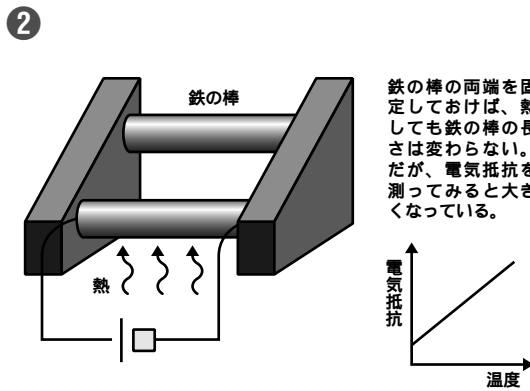


ロビーから臨む夕焼けの富士山を背景に、研究グループの渡辺篤氏(左)と滝川好比郎氏(右)。このほかに、同グループの小向哲郎氏と相澤茂樹氏にも話を伺った

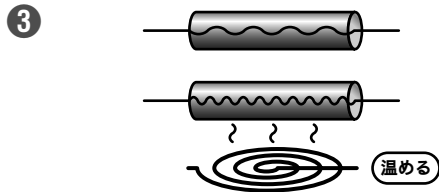
「図説 光ルーターとサーモプティックスイッチの原理



スルメを焼くと反り返るのは、火であぶられた側が、反対側よりもより大きく膨張するから。

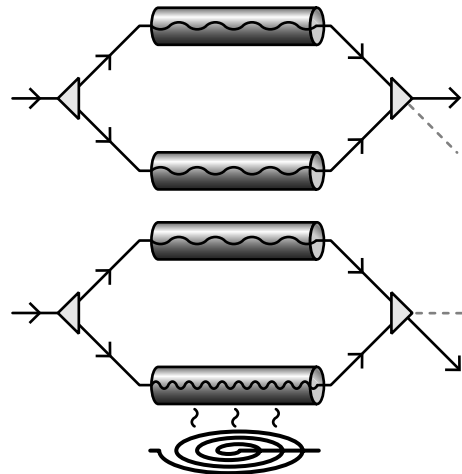


これは、中を移動する電子（電流）にとっては、「進む距離が伸びた」と同じことを意味する。



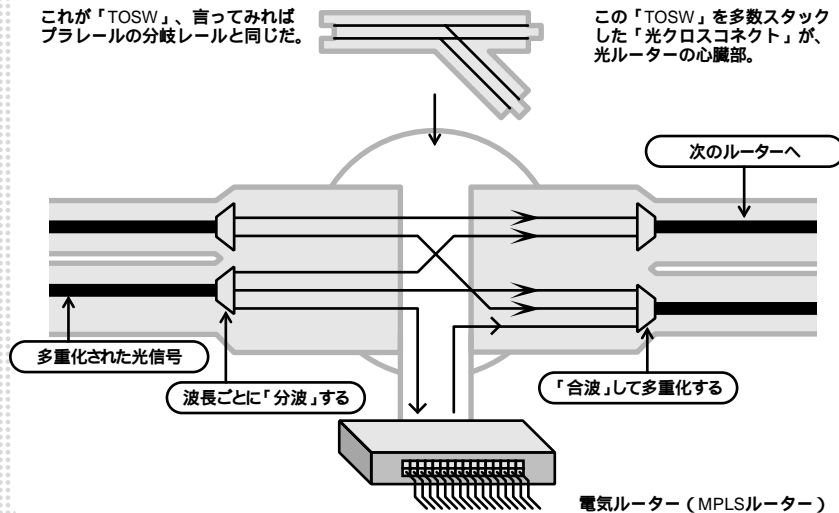
ファイバー（や導波路）も同様で、温度が上がると中を通過する光にとっては「ファイバーが伸びた」ように見える。物理的な長さは変わらないが、屈折率が変わり、媒質中における光速が変わる。すると、温める前と比べて光路長が伸び、中を通過する光の位相が変わってしまうことになる。

4 同じ光源からの光をいったん分けて、再び重ね合わせるとき、一方の位相が変わっていると干渉が起きる。温度を変えることで片側の位相を変えられるなら、これを利用して光りの進行方向を切り替えることができるようになるわけだ。



これが「TOSW」、言ってみれば
ブラレールの分岐レールと同じだ。

この「TOSW」を多数スタック
した「光クロスコネク」が、
光ルーターの心臓部。



電気ルーター（MPLSルーター）



テラビット級光MPLSルーター

ている(173ページの図説を参照)。これがなかなか優れたモノなのだそうだ。

「半導体の製造技術を応用し、精密に熱量を制御できて安定動作するデバイスを、NTTフォトニクス研究所の技術を使ってNTTエレクトロニクスが開発してくれた。光ルーターが、これで実現したんです」(滝川さん)

多重化された光信号を分けたり束ねたり、波長を変換したりする素子もきわめて重要だ。だが、ルーターの「行き先を変える」という機能を実現しているのはこのTOSWにほかならない。「SuperCOMM 2001」での世界初展示を知らせるプレスリリースはA4用紙でぎっしり4ページの分量だが、TOSWに関しては「導波路屈折率を熱によって制御する...光スイッチです」という1行半ほどの記述のみ。光ルーターを光ルーターたらしめているこのわずかな記述にちゃんと引っかかっていたN編集長、さすがである。

宛名の書き方、読み方がスピードを規定する

従来のルーター(電気ルーター)は、届いたパケットに記されたヘッダーから宛て先を読みとり、それに従って行き先を決めている。この「止めて、読んで、送り出す」仕事をスピーディーに効率良く行うため、さまざまな工夫がなされてきた。国内のインターネット

のバックボーンで使われているATMは、パケットを小さく分割し、分割されたパケットの大きさをみな同じに揃えることで、滞りなくパケットを流してスピードアップを図る仕組みだ。言ってみればATMパケットは「定型郵便物」。詰まらずスムーズに郵便番号自動読みとり機をちゃんと通過してくれることが肝心で、そのために大きさや厚みや重さ、できれば表面の摩擦や固さなどもある範囲の中に収まってほしいわけである。

また、最近なにかとよく登場する「MPLS」は、あるネットワークの中でだけ通用するシンプルな「ラベル」をパケットに貼り付けることで、スループットを上げるもの。このラベルは、空港で預けた荷物のタグに付けられたNRT、JFK、LHRなどの3レターコードに似ている。もし、預けた荷物が違う国に流れ着いたとしても、それが航空輸送ネットワークの中でなら、そこで働く人は3レターコードで目的地がわかる。海運や陸送など別のネットワークに荷物が紛れ込んでしまったらアウトだが、彼らが職務を忠実に遂行してくれる限り荷物はちゃんと目的地の空港へたどり着くのである(と期待したい)。

MP Sとは波長が宛名のMPLS

今回の光MPLSルーターもMPLSだから、ネットワークの内側ではパケットの中身

まで改めることはしていない。そもそもそれがMP(マルチプロトコル=パケットの素性は問わない)のLS(ラベルスイッチ)という名前の由来となっているわけだが、では、中身を見ないのにどうやって行き先を認識し、経路を設定できるのか?

もっと言えば、光を光のまま通過させたりスイッチングさせたりするTOSWは、パケットの中身など最初から「読みようがない」。ならば、何を手がかりにルーティングしようというのか?

「それを波長でやるのがミソなんです。MPLSを一般化したG-MPLSというものがありますが、その実現形態の1つにMP Sというものがある。(ラムダ)とは波長のことです。パケットにラベルを付けるのではなく、パケットが乗る波長そのものをラベルとして使ってしまうというのが、MP Sなんです」

どういふことか。

「別の言い方をすれば波長でパス(経路)を設定するわけです。高速道路にたとえてみると、料金所を通過した時点でクルマは行き先ごとに進むべき車線(レーン)を指定される。北海道行きは赤、岩手は緑、東京で降りるクルマは青のレーンを走りなさい、という具合で、これが波長パスに相当する。東京インターチェンジで青のレーンは一般道路に降りることになる。もちろん新たに入ってくるクルマもありますから、既存

光ルーターをよりよく理解(?)するための雑学

「2種のシナプス、その戦略」

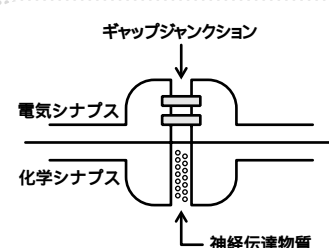
人間の脳の中には140億の神経細胞(ニューロン)がある。枝分かれして伸びるニューロンとニューロン、あるいはニューロンと筋繊維などの接合部に「シナプス」と呼ばれる構造がある。距離にして20nm(ナノメートル)ほどの空隙があり、電気信号として神経繊維を伝わってきた「刺激」は神経伝達物質と呼ばれる化学物質に形を変え、空隙を泳いで次のニューロンに伝わる。そして再び電気的なシグナルに変換され、さらに次のシナプスへと伝わっていく。このとき、単なる刺激の伝達だけではな

く、より高次の情報処理も行われているらしい。これが「化学シナプス」である。

一方、ミミズやザリガニなど無脊椎動物には、より伝達速度の速い「電気シナプス」が存在する。ニューロンの隙間が円柱状のタンパク質で短絡され、電気的なシグナルをスルーさせるシナプスだ。中枢神経が発達していない無脊椎動物が、外敵の襲撃にすばやく反撃し逃走するには、あれこれ理屈をこねる前にまず逃げるスピードが何より重要だ。より速いシグナルの伝達を担う電気シナプスが、生存のためには不可欠だったのだろう。最近の研究では人間の網膜にも一部に電気シナプスが存在すると言われている。

ちなみに、直径1mmに達する巨大神経繊

維を持ち、神経の伝達や興奮のメカニズムの解明に大きく貢献したイカもこの仲間。スルメはそれを天日に干したものである。



テラビット級光MPLSルーターは、2種類のシナプスが合体したような機能を持つ。上半分が光ルーター下半分が電気ルーターと同じような意味になる

光ルーターをよりよく理解(?)するための雑学 2

「葉書の隠れたバーコード」

平成10年2月から施行された7桁の新郵便番号制度は「機械化」を最大の目的としていた。ユーザーの利益に直結するようなメリットはなかったが、「機械でできることはなるべく機械で処理させ、コストダウンを図り、将来にわたって郵便料金を値上げせずにやっていけるように」というのが当時からの説明である。では、それならどのレベルまでの機械化を意味するのか？ 実はケタ数が増えて住所表示の細かい部分までを数字で表現できるようになった

という以上の意味合いが、ここには隠されていた。住所表示のバーコード化だ。DMや公共料金の請求書などでよく見られる「カスタマーバーコード(図)は、これをあらかじめ印刷しておく」と料金の割引が受けられるのという「ラベル」である。それだけでなく、我々が手書きで投函した郵便物でも、局内の「区分機」で何丁目何番地という枝番号までが読みとられ、それがバーコードとなって表面に印刷されている。「えっ、勝手にそんなことを!?」とびっくりするかもしれないが、消印を押すのと同じように、「透明またはごく薄い色のインク(郵政公社の説明)で印刷されるのだ。肉眼では見えないが、紫外線ランプを当てるとバーコードが浮き出

して見えるはずである。郵便ネットワークの中ではこうしたカスタマーバーコードや局内バーコードを手がかりに、郵便物が「ルーティング」されているのである。



郵便番号制マニュアル(日本郵政公社)
URL <http://www.post.japanpost.jp/zipcode/zipmanual/index.html>

のレーンとは重ならないようにレーンの色の指定替えも行われ、北海道行きの車はインターチェンジで違う車線への変更を指定される場合(波長変換)もある。でも、とにかく指示どおりに走っていけば、ちゃんと北海道に到着するわけです」

波長の多重化はもともとポイントツーポイントの伝送容量を上げるために使われた技術だ。それを経路設定にも利用しようというのは、何となく目的外使用という気がしないでもない。

しかし考えてみれば、最初は無線局間のポイントツーポイントの交信手段として使われていた電波も、本当にブレイクしたのは「空間を等方的に伝搬する」という本来の性質を生かした「放送」の用途だではないか。目的外使用と言っても、それが光のそもそもの性質に沿った使われ方ならば、これは非常にスジのいい利用方法なのではないかと思うのだ。

「そもそもルーターって、通過するパケットの方が多いです。それをいちいち電気に変換し、光に戻すのはまどろっこしいわけですよ。通過なら通過とパスを設定しちゃう、このまどろっこしい操作は必要はないんです」という滝川さんの説明で、テラビットの秘密の一端になるほどと得心がいった。

1ミリ秒温めるだけで行き先が変わる

障害が出たり大きくトラフィックが変動したりした場合には、パスを再設定する必要がある。それをスピーディーにダイナミックに行うことができ初めて光ルーターを名乗ることができる。

「TOSWの素子レベルで切り替えに要する時間は3ミリ秒以下、実質1ミリ秒」という。つまり1000分の1秒暖めただけで、それまで右へ行っていた光が左を向くわけで、スルメを焼くのとはいぶが訳が違う。さらに、多数のTOSWを使用した光ルーター網の障害復旧では、手前の光ルーターのTOSWから順番に「準備OK?」「OK!」「次は?」「OK!」「その次は?」「OK!」……と全経路を確認し、エイヤツと切り替える作業が必要になる。それでも所要時間は500ミリ秒、つまり0.5秒……。

「SuperCOMMでの展示でも、ちゃんと障害復旧のデモをやりました。そこまでやっでの動態展示だったんです」

ネットワークの基幹部分を何が支えているかなんてことは、実はエンドユーザーである我々にとってどうでもいい話かもしれな

い。だが、こうした高性能なルーターがなければ、ブロードバンドの普及が近い将来頭打ちになることだけは間違いない。

誰もが潤沢にバンド幅を利用できるようになったとき、ネット越しに交わされるコミュニケーションは、今より少しでも暖かなものであってほしいと思う。

NTT未来ねっと研究所

URL01 <http://www.onlab.ntt.co.jp/jp/>

テラビット級光MPLSルーター

URL02 <http://www.ntt.co.jp/news/news01/0105/010522.html>

NTTエレクトロニクス

URL03 <http://www.nel.co.jp/>

喜多充成(きた みつなり)

1964年石川県生まれ。

産業技術・モノ作りを10年来のテーマとする技術系ライターで、本誌草創期からの執筆陣の1人。連載「インターネットビジネス利用の現場から(1995~)」「2005年へ光る道(1998~)」「超未来ラボ(2001~)」特集「電子メール革命(1995)」「いまそこにある定額制(1999)」などを担当。ウェブ上ではキャノン広報記事『開発者が語る「これがキャノン!」』などがある。

URL <http://web.canon.jp/technology/interview/>

今回は「宙に浮かぶ通信インフラ」に行く!(予定)



[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp